4П

УДК 004.93

І.О. Палій
Науково-дослідний інститут інтелектуальних комп'ютерних систем,
Тернопільський національний економічний університет, м. Тернопіль, Україна
ipl@tneu.edu.ua

Метод і засіб виявлення обличчя для ефективної обробки кольорових зображень

У даній статті представлено метод виявлення обличчя людини на основі комбінованого каскаду класифікаторів, призначений для обробки кольорових зображень шляхом додаткового застосування сегментації за кольором шкіри у двох кольорових просторах. Також на основі аналізу процесів та інформаційних потоків системи виявлення обличчя обґрунтовано структуру та розроблено програмну реалізацію даної системи.

За останні десять років дослідження з виявлення обличчя людини значно активізувалися, що пояснюється виникненням багатьох застосувань для даної задачі, коли виявлення обличчя (ВО) є першим кроком для будь-якої його обробки [1]: розпізнавання обличчя, відеоконференція, пошук зображень за змістом, відеоспостереження, людино-комп'ютерний інтерфейс, аналіз емоцій, підрахунок відвідувачів, контроль доступу та інші. Задача ВО є достатньо простою для людини, проте при створенні автоматичної системи виявлення потрібно враховувати багато факторів, які впливають на зовнішній вигляд обличчя [1]: зовнішність, ракурс, нахил, вираз обличчя, наявність структурних елементів, перекриття іншими об'єктами, умови спостереження та ін.

Відомі підходи до ВО поділяються на ряд груп [1], проте слід виділити методи, що базуються на моделюванні зображення обличчя. За критеріями рівня виявлення та кількості хибних позитивних виявлень (ХПВ) більш ефективними є методи на основі моделювання зображення обличчя, які застосовують монолітні класифікатори: нейронні мережі [2-5], апарат опорних векторів [6-8], класифікатор Байєса [9] та ін. Але більшу швидкодію демонструють методи ВО, що використовують каскадні класифікатори [10-15]. Загалом методи ВО на основі моделювання зображення обличчя демонструють хороші результати на складних тестових наборах і здатні обробляти зображення зі швидкістю десятків кадрів за секунду. Проте існують сфери застосування, де відомі методи ВО не зовсім прийнятні, наприклад, системи відеоспостереження та контролю доступу. Для досягнення у таких системах високого рівня виявлення при мінімальній кількості хибних виявлень потрібне залучення складних монолітних класифікаторів, використання яких при існуючій стратегії пошуку обличчя сповільнює роботу підсистеми ВО і робить неможливою роботу з відеопотоком. Методи ж із каскадними класифікаторами, що дозволяють швидко обробляти відеоінформацію, не володіють достатньою ефективністю, зокрема при збільшенні відсотка виявлень більше 90 % спостерігається експоненціальний ріст кількості хибних позитивних виявлень [12]. Тому актуальною задачею є розроблення нових методів ВО, які б демонстрували високий рівень виявлення обличчя при малій кількості ХПВ, не втрачаючи при цьому можливості роботи з відеопотоком.

Для вирішення даної задачі автором у [16], [17] представлено та експериментально досліджено метод виявлення обличчя на основі дворівневого комбінованого каскаду класифікаторів, який дозволив поєднати швидкодію каскадних класифікаторів із високим рівнем виявлення монолітних. При цьому комбінований каскад використовує каскад простих класифікаторів [10] для виявлення облич-кандидатів та згорткову нейронну мережу [18] для верифікації кандидатів. У комбінованому каскаді використано новий метод верифікації облич-кандидатів [17], який дозволив зменшити час перевірки кандидатів у 9 разів у порівнянні із відомим методом верифікації [5]. Також автором у [17] удосконалено метод навчання згорткової нейронної мережі шляхом використання адаптивного співвідношення позитивних/негативних тренувальних прикладів, що дозволило на відміну від відомого методу навчання отримати низьку похибку класифікації не більше 2 % на оціночному наборі для позитивних прикладів. Запропонований метод ВО на основі комбінованого каскаду класифікаторів показав одні з найкращих результатів на тестовому наборі CMU (130 зображень з 507 обличчями) [3], випередивши за рівнем виявлення метод П. Віоли та М. Джонса [10] на 12 %, а методи Г. Роулі [3], С. Лі [11] та П. Кудряшова [12] приблизно на 5 % при 7 – 10 ХПВ. При цьому система ВО на основі запропонованого методу працює зі швидкістю 15 – 20 к/с.

У даній статті автором розвинуто та досліджено запропонований у [17] метод ВО для ефективної обробки кольорових зображень шляхом додаткового застосування сегментації за кольором шкіри. Крім того, представлено та обґрунтовано архітектуру системи ВО, що дозволило програмно реалізувати дану систему.

Метод виявлення обличчя на кольорових зображеннях

Наявність інформації про колір потенційно може покращити процес ВО, так як звужує область пошуку обличчя, а отже, і зменшує кількість хибних позитивних виявлень [19]. Тому доцільно розвинути метод на основі комбінованого каскаду класифікаторів для виявлення обличчя на кольорових зображеннях. При цьому у комбінованому каскаді потрібно сформувати ще один рівень виявлення облич-кандидатів, що передує каскаду простих класифікаторів, на основі сегментації за кольором шкіри (КШ). Враховуючи, що сегментація за КШ може базуватися на пікселях або на регіонах, автором взято за основу піксельну сегментацію, яка передбачає побудову класифікатора, що відділяє пікселі шкіри від пікселів фону. При цьому доцільно використати метод моделювання з явним визначенням границь кластеру КШ, так як він є простим у використанні, швидким і достатньо точним [20].

Існує декілька кольорових просторів, які з успіхом застосовано для сегментації за КШ, наприклад, для RGB використано наступні явно визначені границі кластеру КШ (для кожного з каналів R, G, B) [21]:

$$
\begin{gathered}
\%\ \text{Модель кольору шкіри при денному освітлені} \\
R > 95 \ and \ G > 40 \ and \ B > 20 \ and \\
\max\{R,G,B\} - \min\{R,G,B\} > 15 \ and \\
|R - G| > 15 \\
and \ R > G \ and \ R > B \\
OR
\end{gathered}
$$

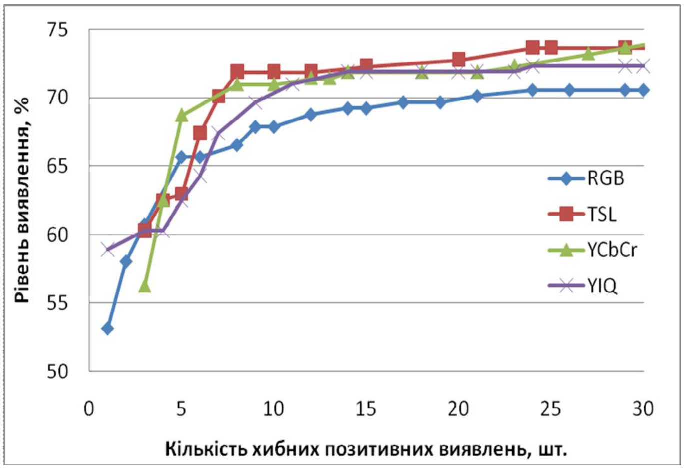
% Модель кольору шкіри при яскравому освітленні

$$R > 220 \; and \; G > 210 \; and \; B > 170 \; and$$
$$|R - G| \leq 15 \; and$$
$$R > B \; and \; G > B.$$

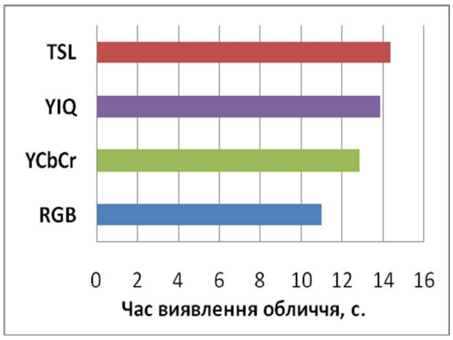
Автором досліджено також кольорові простори TSL, YCbCr та YIQ, для яких, у свою чергу, встановлено наступні границі кластеру КШ (для кожного з каналів T; Cb, Cr; I, Q) [22]:

$$0{,}45 \leq T \leq 0{,}65 \, ,$$
$$85 \leq C_B \leq 135 \text{ and } 135 \leq C_R \leq 160 \, ,$$
$$0{,}02 \leq I \leq 0{,}22 \text{ and } -0{,}08 \leq Q \leq 0{,}12 \, .$$

Експериментальні дослідження методу ВО на кольорових зображеннях з використанням сегментації за КШ проведено на тестовому наборі UCD [23], який містить 58 зображень з 224 вертикальними фронтальними обличчями (рис. 1).



а)



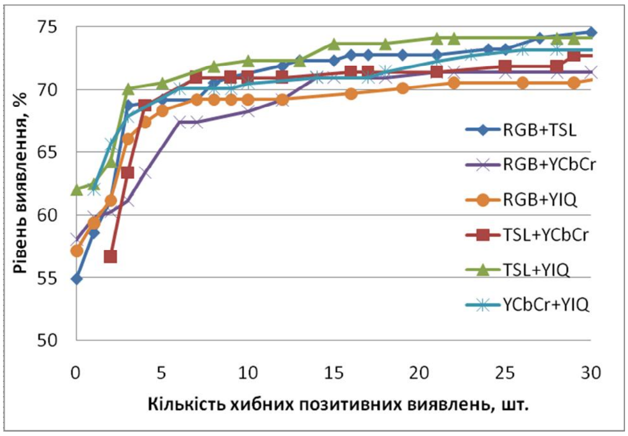
б)

Рисунок 1 – ROC-криві (а) та час виявлення (б) комбінованого каскаду класифікаторів на тестовому наборі UCD з використанням різних кольорових просторів

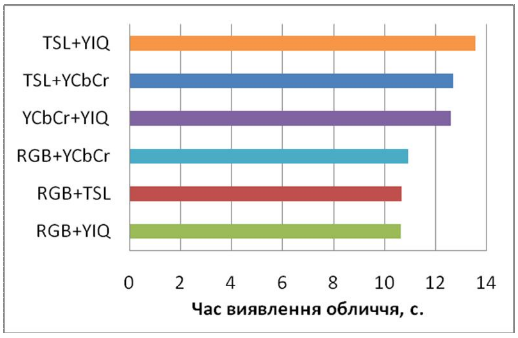
Як видно з рис. 1а, найвищий рівень виявлення забезпечує сегментація за КШ у просторі TSL. Використання простору TSL у порівнянні з YCbCr, YIQ та RGB забезпечує вищий рівень виявлення в середньому на 0,4 %, 1,3 % та 2,7 % відповідно. На основі рис. 1б можна зробити висновок, що найменший час ВО досягається при використанні кольорового простору RGB.

Автором також досліджено вплив на рівень виявлення комбінованого каскаду класифікаторів сегментації за КШ у двох кольорових просторах, результати сегментації яких поєднано логічним оператором «І» (рис. 2).

На основі результатів, поданих на рис. 2, можна зробити висновок, що для досягнення високого рівня виявлення доцільно використати поєднання кольорових просторів TSL+YIQ, тоді як для отримання високої швидкодії – RGB+TSL. Слід відмітити, що використання просторів RGB+TSL у порівнянні з TSL+YIQ демонструє нижчий рівень виявлення в середньому лише на 1,3 %.



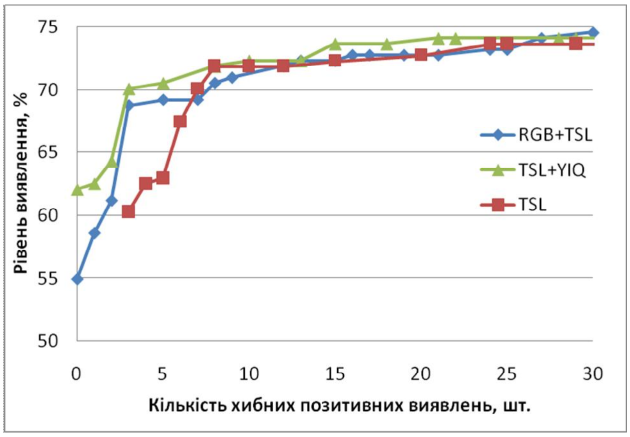
а)



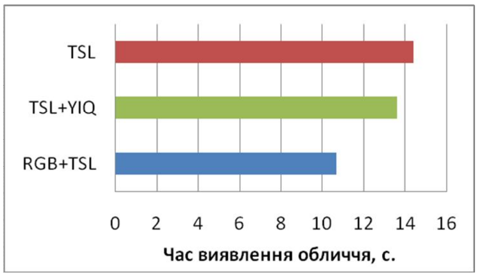
б)

Рисунок 2 – ROC-криві (а) та час виявлення (б) комбінованого каскаду класифікаторів на тестовому наборі UCD з використанням поєднань кольорових просторів

Порівняння результатів ВО з використанням сегментації за КШ одного кольорового простору TSL, а також поєднань просторів TSL+YIQ та RGB+TSL показали (рис. 3), що доцільно використати саме поєднання двох просторів, так як використання TSL+YIQ та RGB+TSL дозволило отримати в середньому на 1,7 % та 0,8 % вищий рівень виявлення та зменшити час ВО на тестовому наборі UCD на 6 % та 26 % відповідно.



а)



б)

Рисунок 3 – ROC-криві (а) та час виявлення (б) комбінованого каскаду класифікаторів на тестовому наборі UCD з використанням одного та поєднання декількох кольорових просторів

Подальша обробка сегментованого зображення може бути здійснена або виділенням сегментів з КШ та подачею кожного з них на вхід комбінованого каскаду класифікаторів як окремого зображення, або обробкою комбінованим каскадом всього вхідного зображення з накладеною бінарною маскою, в якій одиниці містять пікселі з кольором шкіри, а нулі – фон. Доцільно використати останній підхід, який потенційно потребує менше обчислювальних затрат (не потрібно знаходити інтегральне зображення для кожного сегмента, області сегментів не обробляються повторно, коли більші сегменти включають менші) та дозволяє виявити більше облич-канди-

датів (обробляються краї сегментів, які можуть містити частково сегментовані обличчя). У такому випадку з метою уникнення обробки фонових областей вхідного зображення при виявленні облич-кандидатів каскад простих класифікаторів обробляє лише ті вікна, наповненість яких нулями (пікселями фону) на бінарній масці не перевищує 70 %. Вибір такого високого порогового значення наповненості пояснюється необхідністю обробки країв сегментів з КШ, так як часто обличчя сегментуються не повністю. У результаті експериментальних досліджень методу ВО на кольорових зображеннях з використанням тестового набору UCD встановлено, що обробка комбінованим каскадом вхідного зображення з накладеною бінарною маскою виконується на 20 % швидше, ніж обробка кожного сегмента як окремого зображення.

Загалом при використанні сегментації за кольором шкіри метод ВО на основі комбінованого каскаду класифікаторів, представлений у [17], демонструє вищий рівень виявлення в середньому на 1,3 % та 2,6 % (рис. 4), а також потребує на 29 % та 10 % менше часу на обробку вхідних зображень при застосуванні RGB+TSL та TSL+YIQ відповідно (рис. 5).

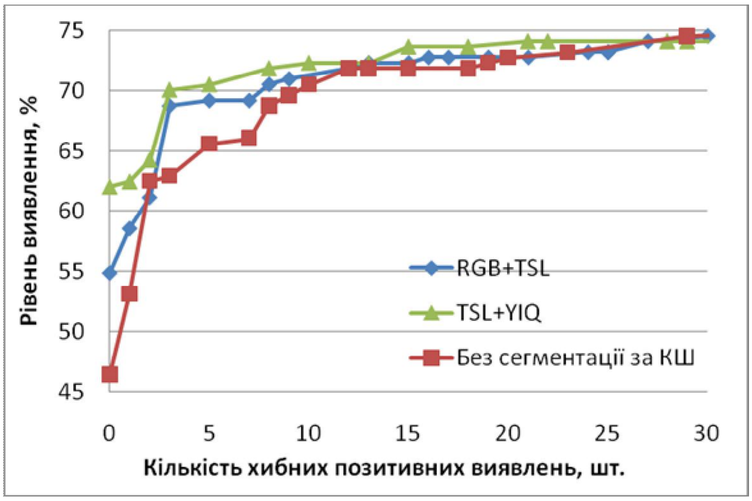


Рисунок 4 – ROC-криві комбінованого каскаду класифікаторів на тестовому наборі UCD з та без сегментації за кольором шкіри

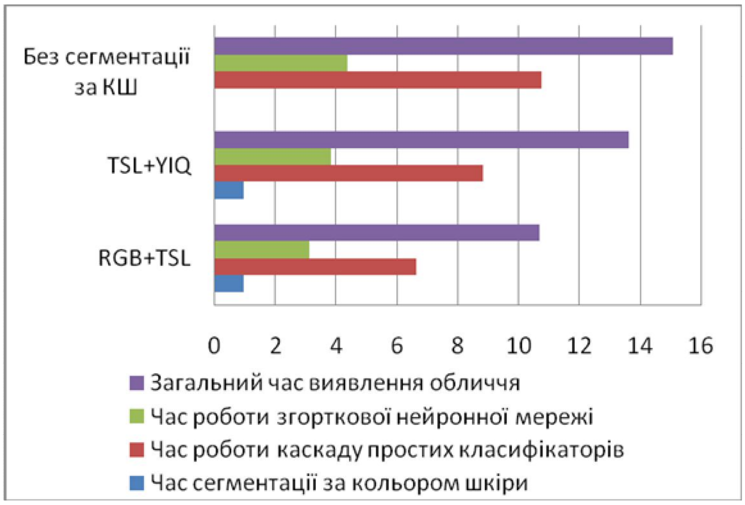


Рисунок 5 – Час роботи комбінованого каскаду класифікаторів на тестовому наборі UCD з та без сегментації за кольором шкіри

Архітектура та програмна реалізація системи виявлення обличчя

Для побудови системи виявлення обличчя потрібно перш за все дослідити процеси системи ВО та інформаційні потоки між ними. З цією метою побудовано деталізовану діаграму потоків даних системи ВО (рис. 6).

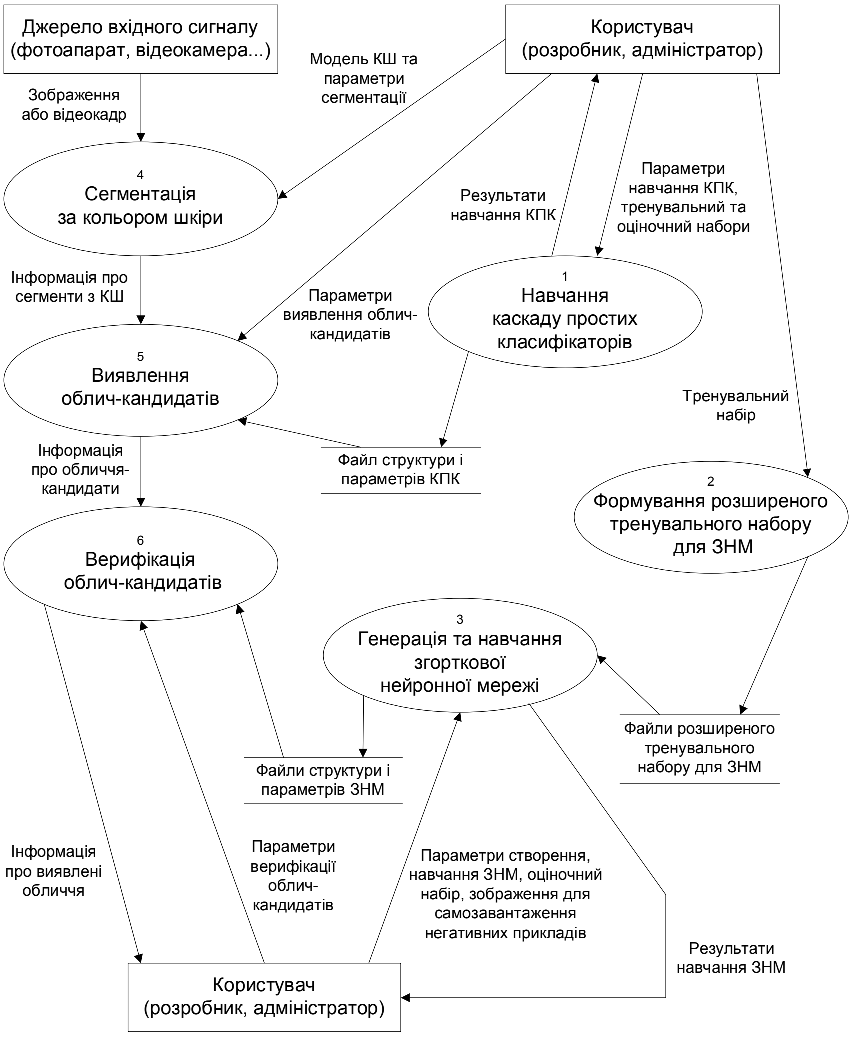


Рисунок 6 – Діаграма потоків даних системи виявлення обличчя

Зовнішніми елементами по відношенню до системи є «Джерело вхідного сигналу» та «Користувач». Джерелом вхідного сигналу може бути фотоапарат, відеокамера, пам’ять, в якій міститься готовий відеозапис або зображення. Користувачем може бути розробник або адміністратор системи, який не тільки отримує результати роботи у вигляді інформації про виявлені обличчя або підсумки навчання комбінованого каскаду класифікаторів, але й тримає зворотній зв’язок із системою через задання параметрів, тренувального та оціночного наборів для навчання та інших даних.

На основі зібраного користувачем набору облич формується розширений тренувальний набір, який генерується за допомогою методу створення віртуальних прикладів [2]. Даний тренувальний набір зберігається у вигляді файлів-зображень і використовується в подальшому при навчанні згорткової нейронної мережі (ЗНМ).

Структура ЗНМ генерується автоматично на основі алгоритму, розробленого автором у [17], і залежить від розміру вхідного зображення, розміру та кроку ядер згортки, кількості шарів, кількості площин у кожному шарі, кількості вхідних зв'язків кожної площини.

У результаті навчання каскаду простих класифікаторів (КПК) та ЗНМ на основі заданих користувачем параметрів, тренувальних та оціночних наборів, зображень для самозавантаження негативних прикладів створюються файли, в яких зберігаються структура та параметри відповідних класифікаторів. Параметрами навченого КПК є координати, типи, синаптичні ваги та пороги Хаар-подібних рис, пороги рівнів КПК. Параметрами навченої ЗНМ є синаптичні ваги та пороги. Крім того, користувач отримує результати навчання: похибки класифікації на оціночному наборі, кількість епох та час навчання.

На основі вхідного зображення, заданих користувачем моделі КШ та параметрів здійснюється сегментація за кольором шкіри, у результаті чого формується інформація про сегменти з КШ. Виявлення облич-кандидатів на знайдених сегментах з КШ відбувається навченим КПК. На виході процесу формується інформація про виявлені кандидати: кількість, координати, ширина, висота та кількість багатократних виявлень. Аналогічно працює і процес верифікації, який перевіряє виявлені обличчя-кандидати і залишає лише ті, які класифіковані як обличчя згортковою нейронною мережею. Результатом роботи даного процесу є інформація про виявлені обличчя: кількість, координати, ширина, висота та достовірність, задана вихідним значенням ЗНМ.

На основі проведеного дослідження процесів та інформаційних потоків системи виявлення обличчя можна синтезувати її структуру (рис. 7).



Рисунок 7 – Структура системи виявлення обличчя

Для моделювання згорткової нейронної мережі, з якою працює ряд програмних модулів системи ВО, використано засоби об'єктно-орієнтованого проектування, що дозволило представити дану мережу у вигляді ієрархії взаємопов'язаних класів (рис. 8):

мережа, шар та площина. Для використання ЗНМ (навчання, виявлення) викликаються відповідні методи класів.



Рисунок 8 – Об'єктно-орієнтована модель згорткової нейронної мережі

Програмну реалізацію системи виявлення обличчя (рис. 9) здійснено у середовищі Visual C++ 2007 з використанням бібліотеки Intel Open Computer Vision Library [24] та Intel Integrated Performance Primitives [25], що дозволило підвищити швидкодію системи на робочих станціях з Intel-процесорами. При цьому тестування розробленої системи ВО проведено з використанням камери Logitech QuickCam Messenger на робочій станції Intel Celeron E1200 Dual-Core 1,6 GHz з 1 Гб оперативної пам'яті. Розроблене програмне забезпечення впроваджено в рамках систем відеоспостереження (україно-білоруський проект, № 0105U008183) та контролю доступу (держбюджетна тема, № 0107U012236).

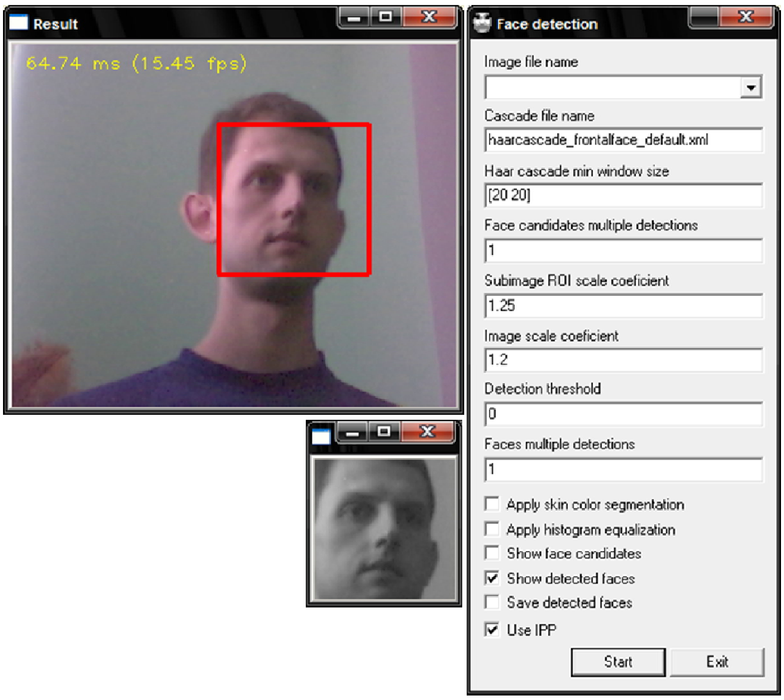


Рисунок 9 – Головне діалогове вікно системи виявлення обличчя

Висновки

Удосконалено метод виявлення обличчя на основі комбінованого каскаду класифікаторів, який призначений для обробки кольорових зображень шляхом сегментації за кольором шкіри у двох кольорових просторах, що дозволило підвищити рівень виявлення в середньому на 1,3 % та 2,6 %, а також зменшити час обробки вхідних зображень в середньому на 29 % та 10 % при застосуванні поєднань просторів RGB+TSL та TSL+YIQ відповідно у порівнянні з методом виявлення обличчя без використання сегментації.

Досліджено інформаційні потоки та процеси системи виявлення обличчя та синтезовано її структуру. Також представлено ієрархічну об'єктно-орієнтовану модель згорткової нейронної мережі. Синтезована структура системи виявлення обличчя та модель мережі дозволили розробити програмну реалізацію та впровадити її в системах відеоспостереження та контролю доступу.

Література

1. Yang M. Recent Advances in Face Detection // IEEE ICPR 2004 Tutorial. – Cambridge (United Kingdom), 2004. – 93 p.
2. Poggio T., Sung K. Example-based learning for view-based human face detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1998. – Vol. 20, № 1. – P. 39-51.
3. Rowley H., Baluja S., Kanade T. Neural network-based face detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1998. – Vol. 20. – P. 22-38.
4. Yang M., Roth D., Ahuja N. A SNoW-Based Face Detector // Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems 12 (NIPS 12). – 2000. – P. 855-861.
5. Garcia C., Delakis M. Convolution Face Finder: A Neural Architecture for Fast and Robust Face Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2004. – Vol. 26, Issue 11. – P. 1408-1423.
6. Osuna E., Freund R., Girosi F. Training Support Vector Machines: An Application to Face Detection // Proc. of IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. – 1997. – P. 130-136.
7. Romdhani S., Torr P., Schlkopf B., Blake A. Computationally efficient face detection // Proceedings of ICCV. – 2001. – Vol. 1. – P. 695-700.
8. Heisele B., Serre T., Prentice S., Poggio T. Hierarchical classification and feature reduction for fast face detection with support vector machines // Pattern Recognition. – 2003. – 36 (9). – P. 2007-2017.
9. Schneiderman H., Kanade T. Probabilistic Modeling of Local Appearance and Spatial Relationships for Object Recognition // Proceedings of IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. – 1998. – P. 45-51.
10. Viola P., Jones M. Robust Real-Time Face Detection // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 57, № 2. – P. 137-154.
11. Li S., Zhang Z. FloatBoost Learning and Statistical Face Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2004. – Vol. 26, № 9. – P. 1112-1123.
12. Кудряшов П.П., Фоменков С.А. Гибридный алгоритм обнаружения человеческих лиц // Информационные технологии. – 2007. – № 10. – С. 20-23.
13. Vetter T., Rätsch M., Romhani S. Efficient Face Detection by a Cascaded Support Vector Machine using Haar-like Features // Proceedings of The 26th German Association for Pattern Recognition Symposium (DAGM'04). – Tübingen (Germany), 2004. – P. 62-70
14. Zuo F., With P. Cascaded Face Detection Using Neural Network Ensembles // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2008. – Issue 1. – 13 p.
15. Nilsson M., Nordberg J., Claesson I. Face Detection using Local SMQT Features and Split up Snow Classifier // Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2007). – 2007. – Vol. 2. – P. 589-592
16. Палий И.О., Саченко А.А., Турченко В.А., Куриляк Ю.О., Капура В.А Обнаружение лиц с помощью комбинированного каскада классификаторов для видеонаблюдения // Вестник Брестского государственного технического университета. – Серия: физика, математика и информатика. – 2007. – № 5. – С. 5-8.

17. Палій І.О. Методи виявлення обличчя людини на основі комбінованого каскаду класифікаторів / Палій І.О. // Комп'ютинг. – 2008. – Том 7, Вип. 1. – С. 114-125.
18. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition // Intelligent Signal Processing, IEEE Press. – 2001. – P. 306-351.
19. Палій І.О. Вдосконалений нейромережевий метод виявлення облич / Палій І.О., Куриляк Ю.О., Саченко А.О. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – Т. 1, № 2. – С. 145-148.
20. Vezhnevets V., Sazonov V., Andreeva A. A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques // Proceedings of Graphicon-2003. – Moscow (Russia), 2003. – P. 85-92.
21. Peer P., Kovac J., Solina F. Human Skin Colour Clustering for Face Detection // EUROCON 2003 – International Conference on Computer as a Tool. – Ljubljana (Slovenia), 2003. – Vol. 2. – P. 144-148
22. Paliy I., Koval V., Kurylyak Y., Sachenko A. Improved Method of Face Detection Using Color Images / Paliy I., Koval V., Kurylyak Y., Sachenko A. // Proceedings of the International Conference TCSET'2006. – Lviv-Slavske (Ukraine), 2006 – P. 186-188
23. Sharma P., Reilly R. A Color Face Image Database for Benchmarking of Automatic Facial Detection Algorithms // Proceedings of 4th European Conference of Video/Image Processing and Multimedia Communications. – 2003. – P. 423-428.
24. OpenCV library. – Режим доступу: http://sourceforge.net/projects/opencv/
25. Intel IPP library. – Режим доступу: http://www.intel.com/cd/software/products/asmo-na/eng/302910.htm

И.О. Палий

Метод и средство обнаружения лица для эффективной обработки цветных изображений

В данной статье представлен метод обнаружения лица человека на основе комбинированного каскада классификаторов, который предназначен для обработки цветных изображений путем дополнительного использования сегментации по цвету кожи в двух цветных пространствах. Также на основании анализа процессов и информационных потоков системы обнаружения лица обоснована структура и разработано программное обеспечение данной системы.

I.O. Paliy

Face Detection Method and Mean for Color Images Effective Processing

A face detection method, based on the combined cascade of classifiers, for color images processing using additional skin color segmentation at two color spaces is presented in this article. Face detection system's structure and software are developed as well based on the system's processes and information flows analysis.

Стаття надійшла до редакції 28.07.2008.